

13/05/05

10/534722  
JC05 Rec'd PCT/PTO 12 MAY 2005

明細書

## 燃料電池用触媒及びそれを用いた電極

## 5 技術分野

本発明は燃料電池において、分子状の水素を原子状の水素に乖離したり、水素原子をプロトン化する触媒及びそれを用いた燃料電池電極に適応できる素材に関する。

さらに詳しくは、様々な構造と形態を有する分子性金属酸化物、たとえばケギン構造 ( $[XM_{12}O_{40}]^{n-}$ )、ドーソン構造 ( $[X_2M_{18}O_{62}]^{n-}$ )、アンダーソン構造 ( $[M_7O_{24}]^{n-}$ ) を含む分子量800-10,000の固体金属酸化物分子の格子内に、Ru, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Auなどの貴金属、及びTi, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, などの遷移金属を原子レベルでその格子内に置換的にドープした固体ポリ酸からなる耐CO被毒性に優れかつメタノール酸化特性に優れた触媒及びそれを用いた燃料電池電極に適応できる素材に関する。

## 背景技術

次世代の高エネルギー変換効率機器として固体高分子形燃料電池が注目を集めている。内燃機関よりエネルギー変換効率が高い燃料電池は環境問題解決の切り札として電気自動車や定置型電源として実用化が望まれている。燃料電池の産業技術としての実用化のためには汎用性のある化石燃料を用いる必要があり、たとえば、メタノールや天然ガスを燃料として用いる固体高分子形燃料電池が望まれている。しかしながら化石燃料を用いる場合、改質ガス中に含まれる一酸化炭素(CO)は数ppmの濃度でも白金電極触媒表面に強く吸着して水素酸化反応を阻害するため改質システムにおいてCO濃度を極めて低いレベルまで下げる必要があるが、システムの複雑化や負荷変動に対するレスポンスの低下などを招いてしまう。これらは高コスト化、信頼性低下などを引き起こし燃料電池技術の実用化を阻む原因ともなっている。これらの問題を解決する技術として白金触媒のCO耐性を向上させるためRuと合金化したPtRu触媒が広く使用されているが、

さらに高濃度COに耐性のある新規触媒電極が望まれている。

他方、近年携帯型電子機器の進歩によりさらにエネルギー密度の大きい電源が必要とされている。リチウム電池ではエネルギー容量は理論密度により制限されているために、これを越えるエネルギー密度電源としてメタノールを燃料とする

5 直接メタノール型燃料電池 (Direct Methanol Fuel Cells) が注目を集めている。直接メタノール型燃料電池ではアノードでメタノール燃料を直接6電子酸化させるため大きな過電圧が存在し、また、低温でのメタノールの低い反応率のために変換効率が低く留まっているのが現状である。

また、反応中間体のギ酸やホルムアルデヒドの電極表面への吸着やカソード側10への拡散など変換効率の減少や有害物質の放出など実用上の様々な問題点を有している。現在はより低い過電圧で、かつより高い反応率でメタノールを酸化出来る触媒電極が望まれている。

これらの高分子形燃料電池用触媒電極として期待されている性能、すなわち優れた耐CO特性やメタノール酸化特性を有する触媒電極の開発が望まれているが、15現状では白金と他の遷移金属との合金、たとえばPtRu, PtSn, PtFe, PtNi, PtCo, PtVなどや白金微粒子を遷移金属酸化物表面に担持した金属/酸化物複合電極の研究が行われている。しかしながら期待されている性能を有する触媒電極は開発されておらず、より高濃度COに耐え、かつメタノール酸化に対しても良好な触媒活性を有する新規触媒電極物質開発が所望されている。

20 また、本発明で用いるヘテロポリ酸の構造自体は、例えばU. Lee, A. Kobayashi and Y. Sasaki, *Acta Cryst.*, C40, 5 (1984) 等で知られているところである。

本発明者は上記の問題点を解決するために鋭意研究した結果、たとえば12. タングストリン酸 ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) などのようなヘテロポリ酸やヘテロ原子を含まないポリ酸のポリアニオン格子中に触媒機能を有する貴金属原子としてPtやRuを置換的にドープした新規な固体ポリ酸を合成し、燃料電池電極としての触媒活性を見いだすに至った。

たとえば12. タングストリン酸( $H_3PW_{12}O_{40}$ )のポリアニオン骨格中タングステン(W)サイトに白金(Pt) 1原子を置換的にドープした場合、12個のタングステン原子の内、1だけ白金原子に置換された固体ポリ酸が合成される。これら

の白金原子はどの固体ポリ酸中でも酸化物分子中で同じ配位構造、化学状態を取り、またすべての白金原子がポリ酸表面に露出している特徴的な構造を有している。

これらのポリ酸中の白金原子は金属状態の白金原子と異なりポリ酸骨格中に取り込まれた特殊な化学的結合状態を有するために特異な触媒活性点として働く可能性がある。またすべての白金原子がポリ酸表面に露出しているために白金原子の利用率が高く、燃料電池電極で問題となっている白金使用量を大幅に低減できる可能性がある。またポリ酸自体は強酸性、高プロトン伝導性であり、さらに、タンクステンやモリブデンなど高酸化数で酸化-還元能を持つ原子を多数含むので、吸着COやメタノールの酸化反応に取って有利な可能性がある。

すなわちポリ酸表面の白金にCOなどの吸着種が存在しても表面がプロトン伝導性であるためにCOとOHやプロトンとの反応が促進され被毒が低減される可能性がある。また、メタノール酸化の反応中間体であるギ酸(HCOOH)の水素引き抜きによる酸化反応も促進されこれらの吸着種の酸化が促進され、その結果としてメタノール反応率の向上や過電圧低減などの電極性能の向上化が期待できる。

これらのポリ酸中にRu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Auなどの貴金属、あるいはTi, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W,などの遷移金属を原子レベルでその格子内に置換的にドープした固体ポリ酸は、例えば酸素分子によるオレフィンのエポキシ化反応に高活性を示す(Y. Nishiyama, Y. Nakagawa, and N. Mizuno, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2001, 40, 3639)など、種々の酸化反応に高活性を示すことが知られている。

しかし、これまで電極触媒としてはほとんど研究されてこなかった。とくにPtなどの貴金属をドープした固体ポリ酸は触媒活性点としてPt原子を骨格内に含有しつつポリ酸自体は強酸性、プロトン伝導性、また置換原子の存在により電子導電性もあるため特異な触媒機能を有した触媒電極になる可能性がある。

先に述べたように置換原子の存在により電子導電性が向上し電極材料としての基本的性能を有するだけでなく、白金原子上に存在するCOや反応中間体吸着種と近接領域に存在する水酸基(OH)やプロトン(H)との反応が促進され耐

CO被覆特性が格段に向上した、あるいはメタノール酸化特性に優れた触媒電極が作製出来る可能性がある。

また、白金金属微粒子では微粒子内部の原子は反応に関与しないで表面に存在する白金原子だけが触媒反応に寄与するため白金利用率は向上しないが、固体ボリ酸中に組み込まれたPt原子はすべてが活性となり触媒反応に寄与するために白金利用率の劇的向上が期待できる。

本発明にて作製される固体ボリ酸骨格中に異種の原子、たとえば白金、を置換的にドープした固体ボリ酸は特異な触媒特性と高い白金利用率を兼ね備えた高性能触媒電極の可能性が期待できる。

10

#### 発明の開示

本発明は湿式法を用いて合成し、それを燃料電池用触媒電極として応用するものである。たとえば12. タングストリン酸の場合には適当なpH調整により欠損構造体(11. タングストリン酸)を作製し、その欠損サイトに白金原子を挿入させることにより白金原子が置換的にドープされた固体ボリ酸を作製する。

本発明にて合成された貴金属が含まれているヘテロボリ酸の、電気化学的な酸化還元反応触媒としての応用例はほとんど存在しない。ヘテロボリ酸は酸性条件でも安定な種類も多く、燃料電池の電極触媒としても有利である上、貴金属と酸化物との混合触媒と異なり、貴金属元素と非貴金属元素がサイトの制御された状態で配置されているため、反応率の向上が期待出来る。

本発明では、このような貴金属の含まれたヘテロボリ酸の合成を行い、その燃料電池電極としての触媒特性を見いたした。簡便な手法で測定できるメタノール酸化反応を調べることにより触媒電極としての性能を実証した。

25 図面の簡単な説明

図1は、ヘテロボリ酸(アンダーソン構造)のモデル

図2は、Pt置換したアンダーソン型ボリ酸(実施例1)のサイクリックボルタモグラムパターン

図3は、実施例1-2のヘテロボリ酸のサイクリックボルタモグラムパターン

図4は、実施例1のヘテロポリ酸 ( $Na_5H_3[PtW_6O_{24}] \cdot xH_2O$  70°Cでアニール) のXRDパターン

図5は、実施例1のヘテロポリ酸 ( $Na_5H_3[PtW_6O_{24}] \cdot xH_2O$ ) のIRスペクトル

図6は、モリブデン系物質  $Na_5H_3[PtMo_6O_{24}] \cdot xH_2O$  (実施例1のヘテロポリ酸と同構造)のEXAFSにより求めた動径構造関数

図7は、実施例2のヘテロポリ酸 ((TBA)<sub>4</sub>H<sub>2</sub>SiPtW<sub>11</sub>O<sub>40</sub>/アセチレンブラック)のサイクリックポルタモグラムパターン

図8は、ヘテロポリ酸( $\alpha$ -ケギン構造1欠損体)のモデル

図9は、実施例2のヘテロポリ酸(3)のIRスペクトル

図10は、実施例2のヘテロポリ酸の粉末XRDパターン

図11は、実施例3の各ヘテロポリ酸のサイクリックポルタモグラムパターン

図12は、実施例3のヘテロポリ酸のサイクリックポルタモグラムパターン(メタノールのない場合)

図13は、実施例3の各ヘテロポリ酸のUVスペクトル

図14は、実施例3のヘテロポリ酸(5)の<sup>183</sup>W NMRスペクトル

図15は、ヘテロポリ酸( $\gamma$ -ケギン構造2欠損体)のモデル

図16は、実施例4の各ヘテロポリ酸のサイクリックポルタモグラムパターン

図17は、実施例5の各ヘテロポリ酸のサイクリックポルタモグラムパターン

図18は、PtRu 合金微粒子(比較例1)のサイクリックポルタモグラム

図19は、Pt微粒子(粒径1 μm、比較例2)のサイクリックポルタモグラムである。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明において用いる、固体ヘテロポリ酸とは、電解液に不溶性であることが必要である。このため、ヘテロポリ酸の部分塩であることが望ましい。

このような部分塩としては、アルカリ金属若しくはアルカリ土類との部分塩、有機アンモニウムイオンとの部分塩、又は一般カチオン(陽イオン)との塩形成により水に不溶化した部分塩が挙げられる。

さらに、固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、を炭素製電極の表面に保持させて

燃料電池用電極体として用いることができる。表面に保持させるに際して、有機バインダー及び又は無機バインダーを利用することができる。

また、固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、導電性粉末及びバインダーの混合物を成型することができる。

5 ここで用いられる有機バインダーとしては、ポリアミド系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリエステル系樹脂、エポキシ系樹脂、フェノール系樹脂、シリコーン系樹脂等周知の接着性ポリマーが挙げられる。

また、無機バインダーとしては、シリカ、水ガラスなど周知の無機接着剤が挙げられる。バインダーの含有量も、目的に応じて、適宜決めることができる。

10 さらに、固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、導電性粉末及びバインダーの混合物を成型するに際しては、押し出し成型、射出成型、ブロー成型など周知の成型技術を適用することができる。

本発明の実施の形態をまとめると、以下のとおりである。

(1) 貴金属及び／又は遷移金属からなる分子量800-10000のヘテロポリ酸の部分塩である固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

(2) 貴金属がRu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au から選ばれる少なくとも 1種であり、遷移金属がTi, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, から選ばれる少なくとも 1種である上記 1 に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

20 (3) 部分塩が、アルカリ金属若しくはアルカリ土類との部分塩、有機アンモニウムイオンとの部分塩、又は一般カチオン（陽イオン）との塩形成により水に不溶化した部分塩である上記 1 又は上記 2 に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

(4) ヘテロポリ酸が、ケギン構造、アンダーソン構造又はドーソン構造を有するポリ酸である上記 1 ないし上記 3 のいずれかひとつに記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

(5) ヘテロポリ酸の骨格中に貴金属原子を 1 原子で置換したポリ酸である上記 1 ないし上記 4 のいずれかひとつに記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

(6) 貴金属原子がRu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au からなる群れより選ばれる 1 種

である上記 5 に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。

(7) 上記 1 ~ 上記 6 のいずれかひとつの中から選択して、その固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、を炭素製電極の表面に保持させることを特徴とする燃料電池用電極体。

5 (8) 上記 1 ~ 上記 6 のいずれかひとつの中から選択して、その固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、導電性粉末及びバインダーの混合物を成型することを特徴とする燃料電池用電極体。

(9) 導電性粉末が炭素粉末又は金属粉末である上記 8 に記載した燃料電池用電極体。

10 (10) バインダーが有機高分子バインダー及び/又は無機バインダである上記 8 又は上記 9 に記載した燃料電池用電極体。

### 実施例1

(貴金属原子置換ヘテロポリ酸の合成、構造評価及び触媒性能)

本発明では、以下に示す種類の貴金属原子置換ヘテロポリ酸を合成し、赤外吸収、X線回折分析(XRD)、X線吸収端微細構造(EXAFS)などの手法で合成された貴金属置換固体ポリ酸の構造評価を行った。また、電気化学的酸化触媒としての特性を、溶液中での電気化学的メタノール酸化反応で調べることにした。

$\text{Na}_5\text{H}_3[\text{PtW}_6\text{O}_{24}]\cdot x\text{H}_2\text{O}$ (アンダーソン構造)<本発明者による調製>

20 文献(U. Lee, A. Kobayashi and Y. Sasaki, Acta Cryst., C40, 5 (1984))に従い、以下の方法で調製を行い、図1に示すアンダーソン構造の化合物を次に示す方法により製造した。

25  $\text{K}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ (Aldrich社製)を水に溶かし、KOHを少し加え、0.1  $\mu\text{m}$  フィルターで濾過した。この溶液をタンクステン酸カリウム水溶液に添加した後、 $\text{HNO}_3$ を滴下し、pH=5.98とした。さらに1時間ほど加熱したところ、溶液の底に少量の沈殿物が出来たため、濾過したところ、溶液側に大量に黄白色の沈殿が析出した。この沈殿は、溶液を加熱し直しても溶けなかった。室温にして1日静置した。翌日、溶液をKOHでpH=7.5にして、冷蔵庫に入れ、さらにその翌日、沈殿を濾過した後、溶液をエバポレート、液量を約70 mlから15 mlにして、冷蔵庫に入れた。約1週間で、

器壁を中心に黄色透明な固体が多く見られた。

以下これを(1)とする。

(1)のメタノール存在下におけるサイクリックボルタモグラム(CV)の測定を行い、メタノール酸化特性を調べることにより燃料電池触媒電極としての性能評価を行った。

測定条件を以下に示す。

・電解液: 0.5M  $H_2SO_4$ を用いる。

・触媒調製: 試料とアセチレンブラックを重量比20:80の割合で乳鉢で混合する。

・触媒の固定方法: Schmidtらの方法(Schmidt et al. J. Electrochem. Soc.

10 145,2354(1998))によった。粉末5 mgを5%NAFION溶液0.5 mlに分散させ、グラッシーカーボン電極に12  $\mu$ l滴下後室温で乾燥、測定試料を得た。試料が溶液に均一に分散されているならば、電極への試料の担持量は0.12 mgになる。

・メタノール: 1M

・掃引速度は10 mV/s、掃引電位は-0.2 V, +1.3 V, -0.2 V (vs Ag/AgCl) すなわち、

15 -0.001V, +1.499 V, -0.001V vs NHE

とした。

この置換型ポリ酸においてはNa により部分塩として不溶化した固体として分離し、炭素電極表面に担持することにより触媒電極を調製した。

図2に、Pt置換したアンダーソン型ポリ酸のサイクリックボルタモグラムバターンを示す。

20 アノード側が0.85 V、カソード側が0.65 V付近のピークが大きく出ており、メタノールの酸化反応に特有のパターンが見られた。メタノール酸化電流の値は1.177 mAであった。ポリ酸中では白金原子は1原子置換で挿入されているためタンゲステンに対して1/7の組成しか含有されていないにもかかわらず白金属と25 同レベルな酸化電流が流れしており良好な触媒特性を有していることが判明した。

実験より得られたメタノール酸化電流は白金属と比べて同レベルにあり、極めて優れた触媒活性を有していることが判る。ポリ酸中で白金はすべてポリ酸クラスター表面に存在しすべての白金が活性になるため、これらのポリ酸中での白

金含有量は極めて少量であるにもかかわらず高活性を示すと考えられる。この新規な触媒を用いることにより、燃料電池電極中での白金使用量の低減と貴金属の有効利用が期待できることが示された。

次に、この触媒の構造を確認した。ヘテロポリ酸の場合、粉末XRDは、結晶水の量によって大きく異なることが知られている。結晶水の数は、特に室温では合成条件に大きく依存する。高温では合成条件依存性を比較的小さくすることが可能である。(1)と標準サンプルである(2)を比較したXRD分析結果を図4に示す。本合成例の(1)は、結晶性は悪いものの、(2)と同じXRDスペクトルであった。標準サンプルとほぼ同じ $\text{Na}_5\text{H}_3[\text{PtW}_6\text{O}_{24}].x\text{H}_2\text{O}$ が作成できたと考えられる。

他に温在していると考えられる化学種の1つに、例えば出発物質の $\text{Na}_2[\text{Pt}(\text{OH})_6]$ やその酸型の $\text{H}_2[\text{Pt}(\text{OH})_6]$ がある。これらのXRDピークを検討した結果、図4のXRDパターンにはこれらの不純物相からの回折ピークは検出されず合成した試料は純粹に貴金属が置換したアンダーソン型ポリ酸であると断定できる。

アニオンそのものの分子構造は赤外吸収(IR)やX線吸収端微細構造(EXAFS)で検討可能である。IRスペクトルを図5、タンクステン系アンダーソン型ポリアニオンと同一構造のモリブデン系物質 $\text{Na}_5\text{H}_3[\text{PtMo}_6\text{O}_{24}].x\text{H}_2\text{O}$ のEXAFSにより求めた動径構造関数を図6に示す。赤外吸収はAnderson型 $[\text{PtW}_6\text{O}_{24}]^{8-}$ アニオンに特有な吸収パターンを示した。また、EXAFSから得られた原子間距離の情報も、Anderson型 $[\text{PtW}_6\text{O}_{24}]^{8-}$ アニオンの構造と一致していた。これより、電気化学的メタノール酸化反応に高活性を示した触媒が、意図どおりAnderson型構造の金属酸化物分子であることが判明した。

$\text{Na}_5\text{H}_3[\text{PtW}_6\text{O}_{24}].x\text{H}_2\text{O}$ (アンダーソン構造) <試薬メーカーによる調製>

このAnderson型ヘテロポリ酸の工業的大量生産が可能であるかどうかを検討するため、本物質を試薬メーカーに合成を依頼、同様な活性を示すかどうかについて検討を行った。

図3に、本物質のサイクリックボルタモグラムパターンを示す。試薬メーカー調製のAnderson型ヘテロポリ酸(以下試料(3)とする)においても同様なメタノール酸化活性が得られることが判明した。これより、本触媒が大量生産に耐え得る性

質を持つことが示された。

## 実施例 2

(K<sub>4</sub>H<sub>2</sub>[ $\alpha$ -SiPtW<sub>11</sub>O<sub>39</sub>]) ( $\alpha$ -ケギン構造1置換体)

5 実施例2,3,4及び5では、図8に示す構造の、中心にSi、Pなどの非貴金属元素がXO<sub>4</sub>の四面体で入り、その周りをW,MoなどがMO<sub>6</sub>の八面体で12個配位した構造のKeggin型ヘテロポリ酸を検討した。Keggin型ヘテロポリ酸は、pHの低い条件ではMO<sub>6</sub>が12個配位した構造が安定であるが、やや高いpHの場合、MO<sub>6</sub>の配位が9-11個になり、1-3箇所欠損サイトを有する構造が安定になる。この欠損サイトには10 種々の金属を取り込み可能であり、Mn, Fe, Niなど様々な金属が取り込まれた構造のヘテロポリ酸が知られている。しかし、Ptについては、まだ合成例はない。また、Keggin型ヘテロポリ酸には、MO<sub>6</sub>八面体の結合方法によって、対称性の異なる異性体があり、 $\alpha$ 型、 $\beta$ 型、 $\gamma$ 型などがある。実施例2,3,5では、そのうち、 $\alpha$ 型の1欠損体へのPtの導入を試みた。また、実施例4では、 $\gamma$ 型の2欠損体(以下 $\gamma$ -W10)へのPtの導入を試みた。

最初に、前駆体となるK<sub>8</sub>[ $\alpha$ -SiW<sub>11</sub>O<sub>39</sub>]<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>Oを合成した。文献(Inorg. Synth. vol. 27, 89 (1990))に従い、以下の方法で調製を行った。

20 沸騰水30 mlに、Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 18.2 g(55 mmol)を加え、これに8M HClを滴下、pH=8くらいにする。この溶液に、Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O 8.52 g(30 mmol)を水60 mlに溶かした溶液の10 mlを加え(すなわちSi: 5 mmol)た。pH=8.91まで上昇、白い濁りが出た。再び8M HClを滴下、pH=5.16として、約2時間加熱した。翌日、0.1  $\mu$ mフィルターで濾過後、濾液にKCl 15 gを加えると、沈殿が大量に生成した。この沈殿を0.1  $\mu$ mフィルターで濾過、沈殿を1M KCl水溶液5 mlで2度、冷水5 mlで1度洗浄後、風乾した。

25 白金がKeggin型ポリアニオンに組み込まれたヘテロポリ酸は、今まで報告例はないが、K<sub>8</sub>[ $\alpha$ -SiW<sub>11</sub>O<sub>39</sub>]<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>Oを用いてRuを組み込んだ文献(R. Neumann and C. Abu-Ganim, J. Am. Chem. Soc., 1990, 112, 6025)に準じた、以下の方法で合成を行った。

K<sub>8</sub>[ $\alpha$ -SiW<sub>11</sub>O<sub>39</sub>]<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O 3 gをアセトニトリルに懸濁させ、それにH<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.47

g(約0.9 mmol)のアセトン溶液を加え、1晩攪拌後、0.1  $\mu\text{m}$  フィルターで濾過、沈殿をアセトンで洗浄( $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の除去のため)、うすい黄色の固体を得た。結晶水込みで1.43 g得られた。この物質を以下(4)とする。

(4)のメタノール存在下におけるサイクリックボルタモグラム(CV)の測定を、  
5 実施例1と同様な条件で行い、メタノール酸化特性を調べることにより燃料電池触媒電極としての性能評価を行った。

図7に、サイクリックボルタモグラムパターンを示す。この試料も実施例1と同様、アノード側が0.85 V、カソード側が0.65 V付近のピークが大きく出ており、メタノールの酸化反応に特有のパターンが見られた。メタノール酸化電流の値は  
10 3.947 mAであった。上述の通り、触媒/アセチレンブラック混合物の担持量が1.2 mg、混合物中の触媒の比率が20%であり、(4)の分子量が3860.3、(4)中の白金の原子量  
が195.08であることより、触媒中のPt重量あたりのメタノールの酸化電流を計算  
すると、 $3.947 \text{ mA} / (1.2 \text{ mg} * 0.2 * (195.08/3860.3)) = 325.4 \text{ A g}^{-1}$ と、高い  
15 値を示した。ポリ酸中では白金原子は1原子置換で挿入されているためタンゲス  
テンに対して1/12の組成しか含有されていないにもかかわらず白金金属と同レベル  
の酸化電流が流れおり良好な触媒特性を有していることが判明した。

実施例2においても実施例1と同様、ポリ酸中で白金はすべてポリ酸クラスター表面に存在しすべての白金が活性になるため、これらのポリ酸中の白金含有量は極めて少量であるにもかかわらず高活性を示すと考えられる。これらの実験結果より従来の白金金属、および白金合金とは異なる種類の物質である固体ポリ酸  
20 中に白金原子を1原子レベルで置換的にドープした新物質群は白金に匹敵する触媒活性を有することが判明した。この新規な触媒を用いることにより、燃料電池電極中での白金使用量の低減と貴金属の有効利用が期待されることが示された。

(4)の構造の検討も実施例1と同様に行つた。

25 IRを図9に示す。965, 905, 887, 781, 727  $\text{cm}^{-1}$ などに強い吸収が見られた。Siを中心元素とするKeggin型ポリ酸の場合、IRの吸収は、 $\nu(\text{W=O})$ が965  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{Si-O})$ が905  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{W-Ocorner-W})$ が887  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{W-Oedge-W})$ が781  $\text{cm}^{-1}$ 前後に見られるところから、このポリ酸(4)も、Keggin型の構造を保持していると考えられる。

粉末XRDを図10に示す。出発物質の $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ の結晶は見られず、Ptはポリ酸に

取り込まれていることが示唆される。図10には示さないが、EXAFSでも、PtのLII吸收端が観測され、この物質中にPtが含まれていることを示している。

### 実施例3

5 まず、実施例3における各調製法の概要を表1に示す

表1

• $\alpha$ -1置換体( $\alpha$ -PtW11)					
調製法1	調製法2		調製法3		
$n$ -W11-TBA $\quad H_2PtCl_6$	$\alpha$ -W11-TBA $\quad H_2PtCl_6$	$\alpha$ -W11-TBA $\quad H_2PtCl_6$			
in $CH_3CN$ 24 h $H_2O$ $\longrightarrow$	in $(CH_3)_2CO$ 24 h 濾別、溶液を 蒸発固化	in $(CH_3)_2CO$ 24 h 濾別、溶液を 蒸発固化			
褐色溶液 $H_2O$ で 3回洗浄	褐色粉末(6) 褐色粉末(7)	褐色固体(8) 褐色固体(9)			
	酢酸エチルで 3回洗浄 蒸発固化		$H_2O$ で 3回洗浄 蒸発固化		
褐色粉末(5)	褐色粉末(6) 褐色粉末(7)	褐色粉末(8) 褐色粉末(9)			

•  $\alpha$ -W11-TBA =  $[TBA]_4H_2[\alpha-SiW_{11}O_{40}]$   
 •  $\alpha$ -W11-TBA : Pt = 1.1.2 (5),(6),(8) 1.2.4 (7),(9))

•  $\gamma$ -2置換体( $\gamma$ -PtW10)  
 •  $\alpha$ -PtW11(8),(9)と同じ方法  
 $[TBA]_4H_2[\gamma-SiW_{10}O_{40}]$  : Pt = 1.1.2 (10), 1.2.4 (11)

$[(n-C_4H_9)_4N]_4H_2[\alpha-SiPtW_{11}O_{40}]$  ( $\alpha$ -ケギン構造1置換体)

実施例2はカリウム塩であったが、カリウムよりも水への溶解度が低いテトラブ

チルアンモニウム塩のほうが、触媒の電解液への溶出を防止すると言う観点からより適切であると考えられる。カチオンのテトラブチルアンモニウムへの置換を適切に行うためには、実施例2とは異なる調製法を用いるほうがよいことがわかった。調製法の概要を表1に示す。

5 ・調製法1  $\alpha$ 型1欠損体のテトラブチルアンモニウム塩と塩化白金酸6水和物をアセトニトリルに溶解後、大量の水を投入、得られた沈殿をさらに水で洗浄、ポリ酸に取り込まれなかつた塩化白金酸6水和物を除く。

・調製法2 原料をアセトンに溶解後、エバボレーターで蒸発固化、得られた固体を酢酸エチルで洗浄という、水を全く用いない方法。

10 ・調製法3 原料をアセトンに溶解後、エバボレーターで蒸発固化、今度は得られた固体を水で洗浄する。

ICP法によるPt、Wなどの含量を表2に示す。 $\alpha$ -1置換体の場合、調製法1によつた(5)は、取り込まれたPtは量論の半分程度であり、調製法2によつた(6)、(7)は、余剰のPtが残存していたが、調製法3によつた(8)、(9)は、どちらも、ほぼ量論に等しいPtがポリ酸に入っていることがわかつた。

表2

	W	Pt	C	H	N
<i>(TBA)H[Pt<sub>2</sub>W<sub>10</sub>O<sub>40</sub>]</i>	49.3	4.8	23.4	4.5	1.7
<b>(5)</b>	50.4	2.5	22.8	4.4	1.6
<b>(6)</b>	39.2	6.6	20.1	3.6	1.5
<b>(7)</b>	40.4	8.2	18.8	3.5	1.5
<b>(8)</b>	44.9	5.0	22.2	4.0	1.6
<i>(TBA)H[Pt<sub>2</sub>W<sub>10</sub>O<sub>40</sub>]</i>	44.7	9.5	23.4	4.4	1.7
<b>(9)</b>	43.2	4.4	22.5	4.0	1.6
<b>(10)</b>	44.2	4.8	22.1	4.0	1.6
<b>(11)</b>	41.9	5.7	22.2	3.9	1.8

*(italicは計算値)*

(5), (6), (7), (8), 及び(9)のメタノール存在下におけるサイクリックボルタモグラム (CV) の測定を行うことにより、燃料電池触媒電極としての性能評価を行った。より的確な評価をするため、触媒調製及び電極への固定は、ポリ酸をアセト

5 ニトリルに溶解後グラファイトを混合、70°Cで乾燥後200°C、窒素雰囲気で2時間焼成、その試料を改めてエタノールと5%Nafion溶液に懸濁させ、電極上に滴下、乾燥という方法をとった。そのため、メタノール酸化電流値は、実施例1及び2とは異なる条件での値となり、これらの実施例との直接の比較はできない。他は、実施例1と同様な条件で行った。

10 これらのヘテロポリ酸のサイクリックボルタモグラムを図1-1に示す。実施例3においても、Pt含有量は非常に少ないにもかかわらず、Pt金属の場合と同様なメタノール酸化活性を示した。また、Ptの担持量の多いサンプル(9)は、Pt金属より低電位側から酸化電流が流れ始めており、過電圧が低くなっている。

5

これらのヘテロポリ酸の0.86 V付近のメタノール酸化によるピーク電流値及びグラファイトと混合後の触媒中のPt重量比、及びPt重量あたりのピーク電流値を表3に示す。いずれのヘテロポリ酸も、Pt重量比は2%以下であるにもかかわらず、高いメタノール酸化電流値を示しました。また、いずれのヘテロポリ酸も、Pt金属(粒径1-2  $\mu\text{m}$ )に比べ、Pt重量あたりのメタノール酸化電流値は3-8倍と高い値を示している。反応表面積(測定方法は次節、【0011-3】に示す)あたりに換算した値も、酸化物であるにもかかわらず、Pt金属やPt 30wt% Vulcan XC-72Rに近い値を示す試料もあった。この結果は、これらのポリ酸が、低Pt含量の新規なメタノール酸化アノード触媒として有望であることを示す。

10

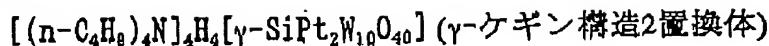
#### 電気化学的反応表面積測定方法

実施例3,4及び比較例2で用いた、白金の電気化学的反応表面積測定方法について説明する。メタノールのない条件で、他は実施例3で示したものと同じ条件でサイクリックボルタモグラムを測定した。典型的なサイクリックボルタモグラムを図12に示す。このサイクリックボルタモグラムより、水素脱着波による、対NHEでアノード側50-400 mVの間の面積から流れた電気量を算出、 $2.1 \times 10^{-4} \text{ C cm}^{-2}$ として反応表面積を計算した。

15

これらのヘテロポリ酸のキャラクタリゼーションも行った。UVスペクトルを図13に示す。Keggin型ヘテロポリ酸は、 $\alpha$ 型、 $\beta$ 型、 $\gamma$ 型の構造の違いで、ここに示すように異なるUVスペクトルを与えることが報告されている。本実施例で得られた試料も、Pt導入前に $\alpha$ 型であったサンプルは導入後も $\alpha$ 型、 $\gamma$ 型も同様であり、UVスペクトルからも、ポリアニオンの構造が保持されていることが示された。IRスペクトルも、図は略すが、実施例2と同様な特徴を示し、Keggin型ヘテロポリ酸が得られていることが判明した。(S)の $^{183}\text{W}$  NMRスペクトルを図14に示す。-92.6 ppmから-139.1 ppmの間に5本の強度の等しいシグナルが観測された。等価なタンクステンが5サイトあることを示している。これは、ポリアニオンのWはPt導入前の構造 $[\alpha\text{-SiW}_{11}\text{O}_{39}]^{6-}$ を保持していることを表している。このポリアニオンの11個のタンクステンは2個の等価なサイトが5つと1個のサイトが1つで、S/N比の関係で2個のサイトのみが見えていると考えられる。

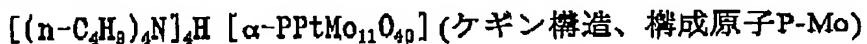
## 実施例4



欠損サイトを2個有する $\gamma$ -ケギン構造(図15)へのPtを導入した試料の調製も検討した。調製方法は実施例3の調製法3によった。これらを試料(10)及び(11)とする。(10)及び(11)のメタノール存在下におけるサイクリックボルタモグラム(CV)の測定も実施例3と同条件で行った。

サイクリックボルタモグラムを図16に示す。実施例4においても、Pt含有量は非常に少ないにもかかわらず、メタノール酸化活性を示した。メタノール酸化活性は実施例3より低かった。これは、第一に、表2に示されるように、実際にヘテロポリ酸に導入されたPtは1ポリアニオンあたり1個と理論値の1/2であったためである。第二には、推測であるが、Ptの配位状態がメタノール酸化活性に影響を与えていた可能性が考えられる。

## 15 実施例5



過去、酸化-還元反応の触媒としては、よりRedox能の高いMoが骨格のヘテロポリ酸が用いられている例が多い。実施例5として、Mo骨格のヘテロポリ酸にPtを導入した試料についての検討を行った。調製方法は実施例3の調製法3及び以下に示す調製法4の2通りを用いた。

・調製法4 単結晶化させるもので、欠損型ポリ酸のアセトニトリル-トルエン溶液と、塩化白金酸水溶液を分液漏斗で激しく攪拌後有機層を抽出、室温で1週間静置、析出した結晶を回収、という方法。

25 調製法3により調製した試料を(12)、調製法4により調製した試料を(13)とする。(12)及び(13)のメタノール存在下におけるサイクリックボルタモグラム(CV)の測定も実施例3と同条件で行った。これを図17に示す。

P-Mo系ヘテロポリ酸の場合は、アノード側では0.14V, 0.28V, 0.42V, 0.53V付近に、大きいピークが見られた。Pt/Vulcan-72BとはCVの形状は異なり、この

ボリ酸のPtはmetalとは異なる状態で入っていると考えられる。大きい酸化波は、ボリ酸そのものの酸化によるものと考えられる。そのため、前述のPtの反応表面積算出法は、この系では不可能である。よって表3にはこの系は掲載していない。

P-Mo系Pt含有ヘテロボリ酸もメタノール酸化活性を示したが、実施例2,3,及び  
5 4のSi-W系よりも活性は低く、Moの酸化還元能との協奏効果はこの系では見られなかった。

### 比較例1

#### ( PtRu 合金微粒子)

10 実施例1及び2と同じ方法で、現在電気化学的メタノール酸化反応に主に用いられているPtRu 合金微粒子のサイクリックボルタモグラムを測定し、メタノール酸化活性を測定した。図1.8がそのサイクリックボルタモグラムパターンである。メタノール酸化電流の値は3.899 mAであった。実施例2と同じ計算方法で触媒中のPt重量あたりのメタノールの酸化電流を計算すると、 $3.899 \text{ mA} / (1.2 \text{ mg} * 0.2$   
15  $* 0.5) = 32.49 \text{ A g}^{-1}$ であった。本発明の実施例2で示した物質の値( $325.4 \text{ A g}^{-1}$ )は、この値の約10倍であることより、本発明で示した物質は、現在主に用いられているPtRu 合金微粒子と比較して電気化学的メタノール酸化反応に優れた特性を示すことがわかった。

### 比較例2

#### ( Pt微粒子)

実施例3,4及び5と同じ方法で、PtRu合金微粒子と同様に現在電気化学的メタノール酸化反応に主に用いられているPt微粒子(粒径 $1 \mu\text{m}$ )のサイクリックボルタモグラムを測定し、メタノール酸化活性を測定した。実施例1,2と実施例3,4,5とでは測定条件が異なる。実施例3,4,5の比較を現在技術と行うため、比較例2の測定を行った。図1.9がそのサイクリックボルタモグラムパターンである。また、メタノール酸化電流値、Pt重量あたりのメタノール酸化電流値及びPt反応表面積あたりのメタノール酸化電流値の計算を実施例3,4と同じ方法で行い、表3に示した。例えば、Pt重量あたりのピーク電流を比較すると、本発明の実施例3で示した試料(7)の値( $3.28 \times 10^6 \text{ mA g}^{-1}$ )は、この比較例2の物質の値( $3.84 \times 10^4 \text{ mA g}^{-1}$ )の

約8倍であることより、本発明で示した物質は、現在主に用いられているPt合金微粒子と比較して電気化学的メタノール酸化反応に優れた特性を示すことがわかる。

### 比較例3

#### 5 (Pt/Vulcan XC-72R)

比較例2では、Ptの金属微粒子を用いたが、現在、電極触媒技術としては、Vulcan XC-72Rなどの炭素担体への担持による高表面積化も行われている。この現在技術との比較も行った。この場合の各物性値を算出、同じく表3に示した。

10 例えは、Pt表面積あたりのピーク電流を比較すると、本発明の実施例3で示した試料(6)の値( $0.438 \text{ mA cm}^{-2}$ )は、この比較例3の物質の値( $0.555 \text{ mA cm}^{-2}$ )に匹敵する値であることより、本発明で示した物質は、現在主に用いられている技術であるPt/Vulcan XC-72Rと遜色ない電気化学的メタノール酸化反応に優れた特性を示すことが判明した。

15 実施例3、実施例4及び比較例2の各ヘテロポリ酸のメタノール酸化電流値及び規格化

に関するデータを表3にまとめて示す。

表3

		ピーク 電流/mA (ピーク 電位/mV)	触媒中の Pt質量比 1.00	Pt量 あたりの ピーク電流 /10 <sup>3</sup> mA/g <sup>1</sup>	反応表面積 /cm <sup>2</sup> (水素吸着法)	反応表面積 あたりの ピーク電流 /mA/cm <sup>2</sup>
PtW11 (実施例 3)	(5)	0.322 (0.860)	0.50	2.57	0.958	0.333
	(6)	0.691 (0.865)	1.32	2.09	1.578	0.438
	(7)	1.335 (0.881)	1.63	3.28	3.268	0.408
	(8)	0.403 (0.860)	1.00	1.61	1.215	0.332
	(9)	0.400 (0.853)	0.89	1.80	1.109	0.361
PtW10 (実施例 4)	(10)	0.325 (0.852)	0.96	1.35	1.227	0.265
	(11)	0.465 (0.856)	1.14	1.63	1.888	0.246
Pt(1 μm) (比較例2)		1.921 (0.870)	20.0	0.384	2.813	0.683
Pt 30w% / Vulcan XC-72R (比較例3)		32.14 (0.945)	23.1	5.57	57.93	0.555

担持触媒量は0.25 mg (Graphite 80% を含む)

Pt 30w% / Vulcan XC-72RのみGraphite添加せず

### 産業上の利用可能性

本発明は電気化学反応の電極触媒として新しい材料である。白金(Pt)や (Ru)などの貴金属原子を1原子レベルで固体ポリ酸中に置換的に挿入し、これらがたとえばタンクステンサイトに挿入された新構造の触媒電極材料である。これらの置

換型固体ポリ酸は貴金属含有量を大幅に低減可能とした燃料電池用電極触媒になると考えられる。この発明は、現在、燃料電池の構成材料として高いコストを占める電極触媒の大幅な低コスト化に効果をもたらし、地球環境への負荷が内燃機関に比べて大幅に小さいにもかかわらず高コストであるために普及が遅れていた燃料電池の普及に大いに貢献すると考えられる。また、構成元素の制御及びサイトの制御が容易であるため、耐CO被毒性に優れた触媒の設計が容易であることが予想され、近年携帯機器の電源として注目されている直接メタノール型燃料電池用の触媒電極としても応用できる。本発明にて作製される固体ポリ酸骨格中に異種の原子、たとえば白金、を置換的にドープした固体ポリ酸は特異な触媒特性と高い白金利用率を兼ね備えた高性能触媒電極として有用であり、構成元素の制御及びサイトの制御が容易であるため、耐CO被毒性に優れた触媒の設計が容易であることが予想され、近年携帯機器の電源として注目されている直接メタノール型燃料電池用の触媒電極としても応用できる。

## 請求の範囲

1. 貴金属及び/又は遷移金属からなる分子量800-10000のヘテロポリ酸の部分塩である固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
- 5 2. 貴金属がRu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au から選ばれる少なくとも1種であり、遷移金属がTi, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, から選ばれる少なくとも1種である請求項1に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
- 10 3. 部分塩が、アルカリ金属若しくはアルカリ土類との部分塩、有機アンモニウムイオンとの部分塩、又は一般カチオン(陽イオン)との塩形成により水に不溶化した部分塩である請求項1又は請求項2に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
- 15 4. ヘテロポリ酸が、ケギン構造、アンダーソン構造又はドーソン構造を有するポリ酸である請求項1ないし請求項3のいずれかひとつに記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
- 20 5. ヘテロポリ酸の骨格中に貴金属原子を1原子で置換したポリ酸である請求項1ないし請求項4のいずれかひとつに記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
6. 貴金属原子がRu, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au からなる群れより選ばれる1種である請求項5に記載された固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒。
- 25 7. 請求項1～請求項6のいずれかひとつの固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、を炭素製電極の表面に保持させることを特徴とする燃料電池用電極体。
8. 請求項1～請求項6のいずれかひとつの固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒、導電性粉末及びバインダーの混合物を成型することを特徴とする燃料電池用

電極体。

9. 導電性粉末が炭素粉末又は金属粉末である請求項8に記載した燃料電池用電極体。

5

10. バインダーが有機高分子バインダー及び／又は無機バインダである請求項8又は請求項9に記載した燃料電池用電極体。

## 要約書

C<sub>1</sub>Oなどの被毒性ガスに対する耐久性が格段に優れた燃料電池用触媒及びそれを用いた電極、メタノールを燃料とする直接メタノール型燃料電池用の高性能な触媒及びそれを用いた電極を提供する。そのため、貴金属及び／又は遷移金属  
5 からなる分子量800-10000のヘテロポリ酸の部分塩である固体ヘテロポリ酸燃料電池用触媒及びそれを用いた電極とする。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**